

## Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott (Mauritanie)

### Flood risks in the city of Nouakchott (Mauritania)

Mohamed Ahmed OULD SIDI CHEIKH <sup>1</sup>, Pierre OZER <sup>2</sup> & André OZER <sup>3</sup>

**Abstract:** After the drought and the desertification that affect strongly Mauritania during the years 70 and 80, the city of Nouakchott knew a spectacular demographic development. The city has widely expanded and the newcomers constructed their houses in marginal zones without planning. Several districts have been installed either in areas of salty soils as sebkha, either in sandy zones. This work permitted to analyze the relation between rains and floods, to monitor the evolution of the urban growth of Nouakchott between 1978 and 2006 and its impact on the vulnerability of the population, to map the flood risk zones and to delimit the present unviable sectors if no planning measure would be taken.

Was also studied the coastal area evolution and particularly coastline modification during the period 1978-2006, by using photographs and remote sensing.

The results of the work constitute an excellent tool for helping the decisions makers. It's a reliable tool for the assessment and the management of the flood risks in Nouakchott.

Keywords: Nouakchott, urban management, floods, remote sensing, risk assessment

**Résumé :** Après la sécheresse et la désertification qui ont fortement frappé la Mauritanie dans les années 70 et 80, la ville de Nouakchott a connu un développement démographique spectaculaire. La ville s'est agrandie considérablement et les nouveaux arrivants ont construit leurs maisons dans des zones marginales sans aménagement préalable. Plusieurs quartiers se sont installés soit dans des zones dépressionnaires à sols salés sous forme de sebkha, soit dans des zones dunaires fortement ensablées. Ce travail a permis d'analyser la relation entre pluies et inondations, l'évolution de la croissance urbaine de la ville de Nouakchott entre 1978 et 2006 et son impact sur la vulnérabilité de la population. La cartographie des zones à risque d'inondations ainsi que la délimitation des secteurs non viables à l'habitat à l'heure actuelle a été établie au cas où aucune mesure d'aménagement ne serait prise. En outre, nous avons également étudié l'évolution géomorphologique du trait de côte du littoral de Nouakchott, durant la période 1978-2006, au départ de photographies et d'images satellitaires. Les résultats de ce travail constituent un outil d'aide à la décision dans le domaine d'évaluation et de gestion des risques d'inondation dans la ville de Nouakchott.

Mots clés : Nouakchott, aménagement urbain, inondations, télédétection, évaluation des risques

## INTRODUCTION

Nouakchott, capitale de la Mauritanie, est une ville dont l'urbanisation est récente. Ce n'est qu'en 1957 que fut décidé le transfert de la capitale depuis Saint-Louis du Sénégal vers Nouakchott. Or, la ville n'était à l'époque qu'un petit poste militaire de la région du Trarza (OULD DADDAH, 2003, p.157). Un plan urbanistique fut établi, qui créait, quasiment de rien, une capitale administrative et politique.

---

<sup>1</sup> BSA Technologies, BP: 786, Nouakchott, Mauritanie. ouldsidicheikh@yahoo.fr

<sup>2</sup> Département de Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Avenue de Longwy, 185 - B.6700 Arlon (Belgique). pozer@ulg.ac.be

<sup>3</sup> Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, Université de Liège, Allée du 6 Août.B11., B.4000 Liège 1, Belgique. aozer@ulg.ac.be

Les projections initiales ne laissaient prévoir pour 1975 qu'une population de 20000 à 30 000 habitants ! Or, à cette date, la population de Nouakchott atteignait ou dépassait même les 150 000 habitants (PITTE, 1977 ; OULD DADDAH, 2003). Aujourd'hui, la population nouakchottoise est estimée à un million d'habitants, chiffre qui traduit une croissance urbaine extrêmement rapide. La progression démographique se poursuit, surtout depuis le début de l'exploitation pétrolière, en février 2006 (SOUDAN, 2006). Les causes de cet afflux de population sont multiples. La sécheresse de la décennie 70 en est une, qui poussa les groupes nomades à se sédentariser, du fait de l'amoindrissement des possibilités de pâturage. L'exode rural a engendré et accéléré un processus de sédentarisation des populations nomades de la Mauritanie dans les zones agricoles et les centres urbains : 72% de nomades en 1970, 32,9% en 1977 et 11,42% en 1985. Nouakchott est ainsi passée de 1 800 ha en 1970 à plus de 8 500 ha en 1992.

Cette croissance non contrôlée posera, sous peu, de lourds problèmes d'urbanisation. « Le développement démographique urbain spectaculaire qu'a connu la ville a entraîné une occupation anarchique des terres qui sont, de surcroît, pour la plupart, non viables et non viabilisées. L'absence de mesures d'accompagnement pour la mise en place d'infrastructures minimales de base pour le maintien d'un cadre de vie sain, favorise la dégradation des conditions d'assainissement » (SEMEGA, 2006a). L'afflux continu de ces réfugiés environnementaux dans les zones urbaines entraîne une augmentation dramatique de la vulnérabilité de ces nouveaux arrivants aux maladies et aux risques naturels. Face à cette situation, des problèmes environnementaux nouveaux tels que les déchets urbains, la pollution des côtes et des nappes phréatiques sont apparus (OZER, A. et OZER, P., 2005 ; SALL, 2005).

Initialement construite sur un petit plateau dunaire pas trop accidenté, compris entre 7 et 8 mètres, Nouakchott s'est, depuis, étendue au-delà de ce plateau et notamment sur le domaine littoral et, entre autres, des dépressions lagunaires dont les terrains inondables sont impropres à la construction (BARRY, 2003). La plaine littorale de la ville de Nouakchott, large de 4 à 5 km, a une altitude générale nettement inférieure au niveau moyen de la mer. L'emprise de Nouakchott sur un environnement difficile se traduit par des confrontations à des risques naturels divers :

- Risque d'ensablements, liés à la remobilisation éolienne des sables de l'Erg du Trarza; celle-ci étant due au surpâturage et à la péjoration des conditions climatiques qui ont entraîné l'amoindrissement du couvert végétal qui fixait auparavant les dunes.
- Risque d'inondations lors de pluies importantes provoquant une brusque remontée de la nappe d'eau subaffleurante;
- Risque d'inondation marine de l'Aftout es-Sahéli et de plusieurs quartiers de la ville, suite à la rupture du cordon littoral et du fait qu'une grande partie de ces zones se trouvent à un niveau topographique inférieur à celui de la mer (ONU, 2005 ; Université de Nouakchott, 2005).

Ces risques potentiels directs ou indirects sont exacerbés par l'extraction de sable ou de coquillages destinés à la construction, par la dégradation de la végétation et par des aménagements portuaires mal conçus (ABOU DAGGA *et al.*, 2003).

D'autre part, les résultats des simulations numériques préliminaires réalisés par le Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique (PRODIG) montrent que si aucune mesure de protection n'est engagée, la région serait soumise à un risque d'ensablement du chenal d'exploitation du port de Nouakchott par contournement des ouvrages existants. Ce contournement entraînera un colmatage dommageable pour les activités du port (TREBOSEN, 2002). Une telle sédimentation mettrait fin au fonctionnement de l'aménagement portuaire (Université de Nouakchott, 2005). Se présenterait également un risque d'érosion de la plage située au sud du port suite à l'arrêt total du transit sédimentaire sous l'effet de la dérive du littoral. Cette érosion s'est déjà traduite par la destruction des dunes littorales qui protégeaient naturellement la ville de Nouakchott (COUREL *et al.*, 1998).

De nombreuses études et recherches sur les zones littorales mauritaniennes, centrées sur la région de Nouakchott, ont été accomplies, durant les dernières années, par des organismes ou des chercheurs internationaux (WEICHENG, 2003). Un projet sur l'Environnement urbain et le littoral a été mis en route par PRODIG depuis 1992. La dégradation de l'environnement régional et urbain, l'évolution du trait de côte, la fragilité du cordon littoral et son comportement face à l'attaque des vagues ont été évalués (COUREL *et al.*, 1998 ; ABOU DAGGA *et al.*, 2003 ; BARRY, 2003 ; MARICO *et al.*, 2006 ; TREBOSEN, 2002) ; enfin, l'Atlas de Mauritanie a été réalisé par l'Université de Rouen dans un projet de coopération CAMPUS. Cependant, les recherches n'ont pas été centrées sur l'extension urbaine et le risque d'inondation en ville. L'analyse de la pluviométrie n'a pas été très poussée non plus pour voir si cette inondation était liée à une augmentation de phénomènes pluviométriques extrêmes ou pas. D'autres questions se posent encore avec plus d'acuité ; par exemple de savoir si la ville de Nouakchott peut continuer à se développer dans le contexte actuel, quelles sont les conséquences des inondations sur les habitations, les populations et l'écosystème et quelles sont les stratégies de gestion des risques qui doivent être mises en œuvre par les pouvoirs publics en vue de résoudre ce problème. Ainsi, dans le but d'apporter une contribution à ces travaux et de comprendre davantage le risque d'inondation qui menace la ville, nous avons choisi d'aborder le thème : «Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott». L'étude s'inscrit dans un effort de recherche déjà entrepris et présente une originalité avec l'utilisation de plusieurs données multisources et multitudes, notamment des photographies satellitaires Corona acquises en 1978, d'images radar ERS de 2005 et d'images SPOT acquises en 2006. Quant à l'analyse climatique, nous utiliserons une longue série pluviométrique couvrant la période 1940-2005.

L'objectif principal de cette étude est donc de faire une évaluation du risque d'inondations dans la ville de Nouakchott ; d'essayer de voir si les inondations enregistrées sont le résultat de pluies journalières exceptionnelles, comme certains observateurs le pensent ou si d'autres facteurs entrent en jeu, favorisant ou provoquant ce type de risque. Nous nous proposons de répondre à cette question à travers l'analyse de l'évolution pluviométrique et de la relation éventuelle entre inondations et événements pluvieux à la station de Nouakchott.

Par ailleurs, nous tenterons de dégager les tendances de l'évolution actuelle de l'érosion côtière au sud du port de Nouakchott et de situer la responsabilité de l'aménagement urbain dans les situations d'inondations enregistrées au cours de ces dernières années. Ce travail sera l'occasion d'analyser l'apport spécifique des images Radar ERS à la détection des zones inondables, en complément ou en synergie avec les images optiques.

## PRESENTATION DU SITE ETUDIE



Figure 1: localisation de la région de Nouakchott

Située entre les 15<sup>ème</sup> et 27<sup>ème</sup> parallèles Nord et entre les 5<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup> méridiens Ouest, la Mauritanie couvre une superficie de 1 030 700 km<sup>2</sup>. Appartenant à l'Afrique occidentale, elle fait face à l'Océan Atlantique sur plus de 800 km.

Nouakchott, capitale du pays depuis 1957, est une ville côtière située à 18°07' de latitude nord et à 16°01' de longitude ouest (figures 1 et 2). Elle abrite près d'un million d'habitants soit plus d'un quart de la population totale mauritanienne (MARGOT, 2006). Construite à l'origine sur un plateau de dunes à 5



Figure 2: Carte de la ville de Nouakchott en 2006

km de la côte atlantique, elle s'est étendue depuis sur la *sebkha* et les queues de dunes de sable.

Du point de vue géomorphologique, la région est composée d'une zone littorale à l'ouest, d'une *sebkha* (plaine saline) au centre et de dunes de sable du désert à l'est. Isolée de la mer par un cordon, la plaine littorale, large de 4 à 5 km, a une altitude générale plus basse que le niveau de la mer (TREBOSEN, 2002).

La zone de Nouakchott se caractérise par une plage basse, sableuse et ventée (MARICO *et al.*, 2006 ; Université de Nouakchott, 2005), possédant un trait de côte remarquablement régularisé et d'orientation générale Nord-Sud avec toutefois une légère incurvation vers l'Est. Le déferlement pré-littoral des vagues en rouleaux puissants, appelés « barres », y est presque permanent, rendant souvent la plage difficile d'accès aux pirogues des pêcheurs (BIRD et SCHWARTZ, 1985).

La pluviométrie se signale principalement par l'irrégularité et la concentration saisonnière de la pluie estivale peu abondante, limitée à une série de fortes averses et par l'alternance d'années sèches et humides. Ce sont les flux de moussons qui sont souvent à l'origine des précipitations en Mauritanie. Les précipitations concernent surtout les mois de juillet, août et septembre. Mais pendant l'hiver, sur le littoral, l'incursion d'air polaire peut engendrer des pluies. La baisse importante des pluies pendant les années 70 a rompu le fragile équilibre environnemental et a entraîné une dégradation de plus en plus généralisée de la couverture végétale (LY, 1999).



## RISQUES D'INONDATIONS

### Origine climatique

Ce phénomène est devenu de plus en plus perceptible dans les grandes villes de Mauritanie, comme ce fut le cas, entre autres, à Rosso, Kaédi, Aleg (LEJOT et CALLOT, 2005) et Nouakchott en 2005 (figures 3 et 4). Chaque année, avec le début de la saison des pluies, les risques d'inondation sont réels (IRIN, 2006). Ces inondations entraînent une désaffectation des habitations touchées et créent des conditions propices pour le développement de maladies hivernales comme le paludisme, le choléra et les diarrhées (CISSE, 2006, p2). Cette situation s'explique selon l'OMS (2005) par des « facteurs saisonniers » notamment des précipitations fortes au cours de la saison des pluies. En 2005, la grande majorité des patients touchés par le choléra à Nouakchott provenaient du bidonville d'El Mina (Médecins Sans Frontières, 2005), qui abrite une population estimée à 100.000 habitants et qui est le plus inondé pendant l'hivernage.

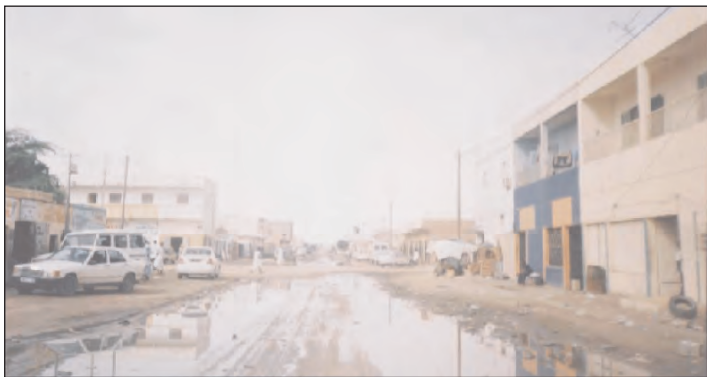


Figure 3 : Quartier Sebkha - hivernage 2005;  
Source : Ambassade de France (2005)



Figure4 : Hivernage 2006.  
Source : BSA (2006)

D'après les travaux de SENE et OZER (2002) et LEJOT et CALLOT (2005), des signes annonciateurs de la fin de la sécheresse pluviométrique qui sévit au Sahel depuis près de trois décennies semblent visibles ces dernières années, avec un regain des activités pluvieuses supérieures à la normale 1961-1990. Ce redressement pluviométrique s'est accompagné d'inondations dans la plupart des villes d'Afrique de l'Ouest. Certains considèrent ces inondations comme nouvelles, parce que n'étant jamais survenues auparavant, et estiment que ce nouveau risque est lié à des « précipitations journalières exceptionnelles ». Selon GUEYE (2006, p.3), la Mauritanie renoue depuis quelques années avec une pluviométrie de plus en plus importante. Surtout après les pluies hivernales de 2002 qui eurent le plus mauvais effet sur le monde rural et le cheptel en particulier, les intempéries aux conséquences néfastes de l'année dernière et les derniers orages meurtriers qui viennent de s'abattre sur certaines localités du Brakna et du Trarza fin juillet 2006. Les risques climatiques sont d'autant plus menaçants quand on sait que, malheureusement, les capacités nationales en météorologie ne sont actuellement pas à la hauteur pour faire des prévisions fiables et utilisables en temps réel ; ce qui permettrait de prévoir des catastrophes naturelles. Malgré l'existence des services chargés de la Météorologie, ceux-ci demeurent handicapés par la faiblesse des infrastructures et le manque de ressources humaines (GUEYE, 2006).

## Origine marine

Les risques naturels d'inondation occasionnelle, totale ou partielle, de l'agglomération nouakchottoise, sont de plusieurs ordres comme le montre la figure 5:

D'abord, l'érosion générée par le port de l'Amitié qui arrête le transit sédimentaire vers le sud, menace directement les terrains salés de l'Aftout es-Sahéli et même certains quartiers périphériques de la capitale (MARICO *et al.*, 2006 ; TREBOSEN, 2002). Des terrains situés au sud du port sont dès à présent remis en eau, et l'érosion ne fait que s'accroître au fil des années (BARRY, 2003).

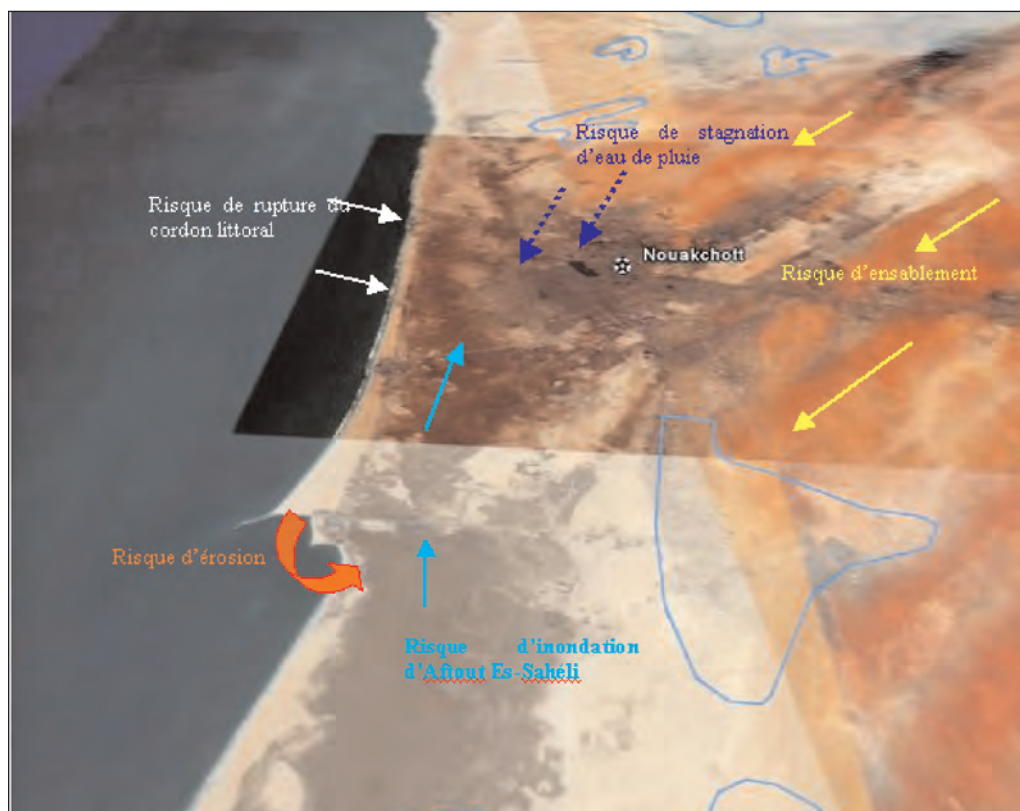


Figure 5: Schématisation de différentes sources d'inondation à la ville de Nouakchott  
Source de l'image : Google Earth, juillet 2006

Ensuite, la fragilisation et le démaigrissement de la dune bordière, déjà avérés entre le port de l'Amitié et l'Hôtel Sabbah (Figures 6 et 7), ont rendu possible des incursions marines. Au nord de l'hôtel, avec les prélèvements de sable dunaire marin qui y sont effectués, la dune bordière se trouvera bientôt très fragilisée aussi (MARICO *et al.*, 2006).



Figure 6: Dégradation du cordon littoral.  
Source : Dion (2006)



Figure 7: Travaux de réhabilitation du littoral au sud de l'hôtel Sabah.  
Source : Dion (2006)

Un troisième danger réside dans la propagation, par l'Aftout es-Sahéli, des eaux de crue du fleuve Sénégal qui ont pu, à certaines occasions, inonder le Ksar de Nouakchott comme cela s'est produit en 1950. A cet égard, trois grandes inondations sont connues : 1890, 1932 et 1985, avant la mise en service des barrages sur le fleuve. A ces occasions, l'Aftout es-Sahéli aurait été inondé jusqu'à Goechichit, mais le seuil n'avait pas été franchi. D'après BARRY (2003), l'inondation de 1950, aurait connu une telle ampleur en raison du faible débit de l'embouchure du fleuve Sénégal, ensablée. Cela aurait provoqué une décrue moins rapide que d'habitude et maintenu longtemps un niveau d'eau suffisant pour alimenter en eau l'Aftout qui, une fois franchi le seuil de Goechichit, aurait pu être inondé jusqu'à Nouakchott. Les deux barrages construits sur le fleuve Sénégal (Manantali et Diama) semblent, néanmoins, depuis, constituer des remparts à ces risques d'inondations par les eaux de crue.

D'autre part, l'Aftout es-Sahéli surplombe une nappe d'eau sub-affleurante, dont le battement provoque localement des résurgences. Lors de l'hivernage (ou «saison de pluies»), l'argile rendue imperméable par la longueur de la saison sèche, laisse se former des eaux stagnantes dans plusieurs quartiers (BARRY, 2003).

Les vagues, censées ne pas dépasser le cordon littoral protecteur, l'ont pourtant franchi, à plusieurs reprises, pour aller se répandre dans les terrains inondables situés en arrière des dunes bordières (WEICHENG, 2003 ; MARICO *et al.*, 2006 ; BARRY, 2003). Pour que la mer puisse franchir le cordon littoral, il faut avant tout des conditions hydrologiques et météorologiques particulières : une phase de grande marée haute combinée à une houle exceptionnellement forte, avec de basses pressions, et un « alizé maritime » très présent. Le littoral mauritanien ne connaît jamais de très basses pressions; néanmoins la pression atmosphérique baisse lorsque la zone est balayée par la queue d'une dépression de l'Atlantique Nord ou qu'une « goutte froide » s'insinue entre l'anticyclone des Açores et celui du Sahara. Tout passage de dépression sur l'Atlantique peut engendrer, en outre, un système de houle (BARRY, 2003). Ces conditions contribuent à une montée temporaire du niveau marin. De telles conditions ne sont certes réunies qu'occasionnellement, mais le démaigrissement des dunes littorales rend plus aisé le franchissement du cordon. En effet, si en 1960, la côte était encore presque vierge de toute anthropisation, la situation est aujourd'hui toute différente. Dans la zone d'érosion au sud du port de l'Amitié, il a été enregistré, dès le 25 février 1987, au cours d'une tempête, deux ruptures du cordon littoral (appelé localement *zbar*), d'une vingtaine de mètres de large chacune, ayant alimenté la *sebkha* (BARRY, 2003). L'érosion, désormais, y est telle que les franchissements sont fréquents (WEICHENG, 2003 ; TREBOSEN, 2002). Deux séries d'incursion marine furent particulièrement spectaculaires; elles se sont produites l'une en 1992 et l'autre en 1997.

- En août 1992, les vagues de tempête ont franchi le cordon littoral, notamment au niveau de l'hôtel Ahmedy, ce qui avait conduit à l'interdiction de prélever du sable entre la plage des pêcheurs et le port.

- En 1997, dans la nuit du 14 au 15 décembre, une dépression très creusée sur l'Atlantique, conjuguée à une grande marée et une houle marquée (amplitude de l'ordre de 3 mètres ), avec un vent soufflant entre 20 et 24 nœuds depuis le secteur 300°, ont engendré des incursions marines. « Les pirogues des pêcheurs ont été balayées et il y a eu des victimes (4 à Nouakchott et 2 à Ablawakh). ». La mer est passée en plusieurs points, et notamment, encore une fois, au nord de l'hôtel Ahmedy.

Le prélèvement des sables dunaires à des fins de constructions est la principale cause de ces franchissements au nord du port de Nouakchott, sachant que la perte du couvert végétal défavorise la reconstitution des dunes. Tout récemment, en début mars 2006, la marée avait submergé une bonne frange de terres menaçant du coup les infrastructures portuaires de la capitale et causé la destruction de dizaines d'embarcations (GUEYE, 2006, p3).

## METHODOLOGIE

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les risques d'inondation dans la ville de Nouakchott et de quantifier ce risque, aussi bien celui d'origine pluviale que celui d'origine marine.

La télédétection est un outil pertinent pour la recherche en zones littorales et pour l'évaluation de risques naturels. L'application des SIG aide à la prise de décision, en s'appuyant sur une analyse synthétique. Nous avons eu recours ici à plusieurs données spatiales multitudes et multisources: SPOT, Radar ERS, CORONA et carte topographique (Tableaux 1 et 2).

Toutes les données ont été intégrées dans le même SIG et mises dans le même système de projection cartographique avant de procéder à une série de traitements, entre autres: vectorisation, seuillage, classification, fusion (figure 8)

<i>Tableau 1: Données spatiales utilisées</i>					
Année	Mission	Référence	Mode	Echelle/Résolution	Type et origine
1969	IGN	NE-28-XIV-XV Nouakchott		1 :200 000	Carte topographique (IGN)
30 mai 1978	CORONA 1214-5		Panchromatique	1 :37000	Photographie satellitaire (USGS)
2004				1 :2000	Plan urbain (BEMEC)
21 février 2006	Image SPOT 5 XS		Multispectral	10m	Image satellitaire (SPOT)
21 février 2006	Image SPOT 5 HRV		Panchromatique	2,5 m	Image satellitaire (SPOT)

<i>Tableau 2. Image Radar ERS utilisée</i>				
N° Image	Date d'acquisition	N° Orbite	Frame	Type
1	8 octobre 2005	54729	3242	PRI

## RESULTATS

### Analyse de la pluviométrie à Nouakchott

L'objectif dans cette partie du travail est d'analyser les pluies d'inondation pour recenser leurs fréquences et voir si elles correspondent à des pluies maximales journalières annuelles. L'analyse de la variabilité pluviométrique est importante, car elle permet de comprendre les causes réelles des inondations et la nature des pluies.

L'analyse pluviométrique se fonde sur les données journalières de précipitations recueillies au niveau de la station synoptique de Nouakchott de 1940 à 2005. Cette série provient des archives de l'Agrhymet de Nouakchott et concerne la station agrométéorologique qui a enregistré des mesures depuis 1940 tout d'abord avec l'ORSTOM puis, plus tard, sous la gestion de l'ASECNA. Les données ont déjà subi le traitement nécessaire de vérification et de test d'homogénéité. Il n'y a pas de données manquantes pendant la saison de pluie estivale appelée « hivernage » en Afrique de l'Ouest. Le choix de cette série pluviométrique tient surtout à un souci d'une analyse aussi pertinente que possible, parce que tenant compte d'une longue période précédant et suivant le début de la sécheresse. L'analyse de la relation « inondations - événements pluvieux » se base uniquement sur l'examen des précipitations quotidiennes.



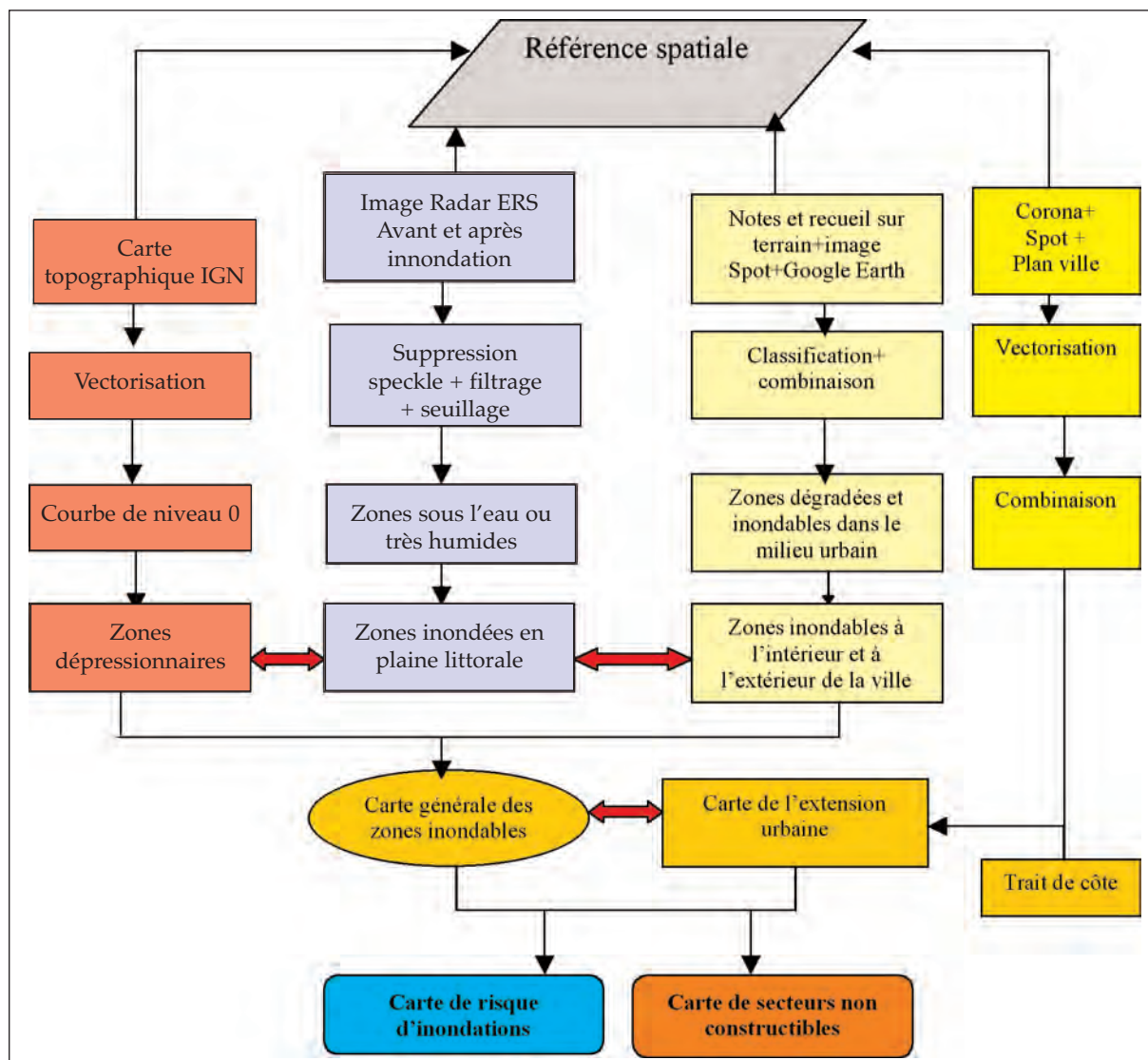


Figure 8 : Méthodologie générale suivie

### Évolution des précipitations

La figure 9 représente l'évolution de la pluviométrie annuelle. Nous avons également appliqué une moyenne mobile de 5 ans. On constate une diminution nette et significative de la pluviométrie annuelle sur la période considérée.

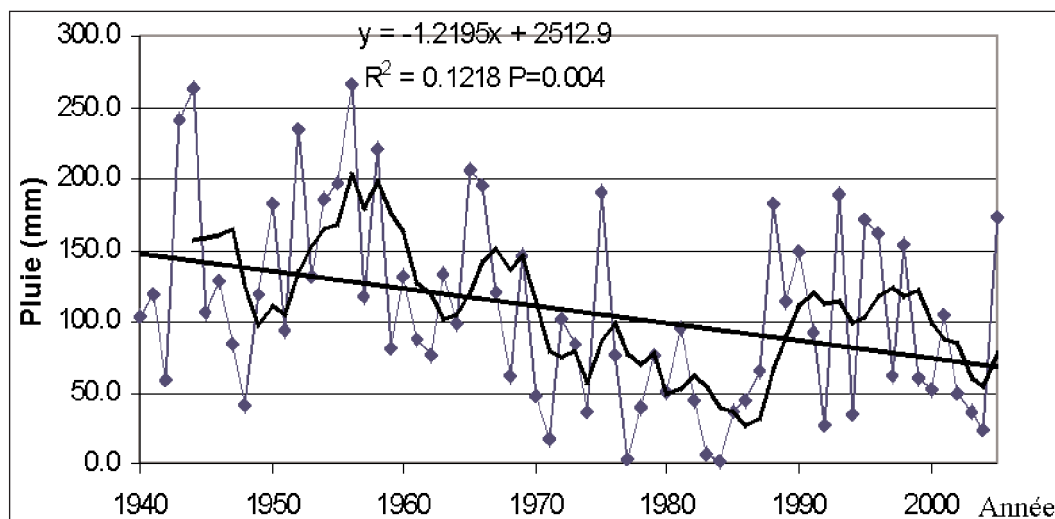


Figure 9 : Tendances de la pluviométrie annuelle à Nouakchott de 1940 à 2005

L'analyse de la figure 10 met en évidence l'évolution du nombre de jours de pluie. Il ressort également la même tendance à la baisse.

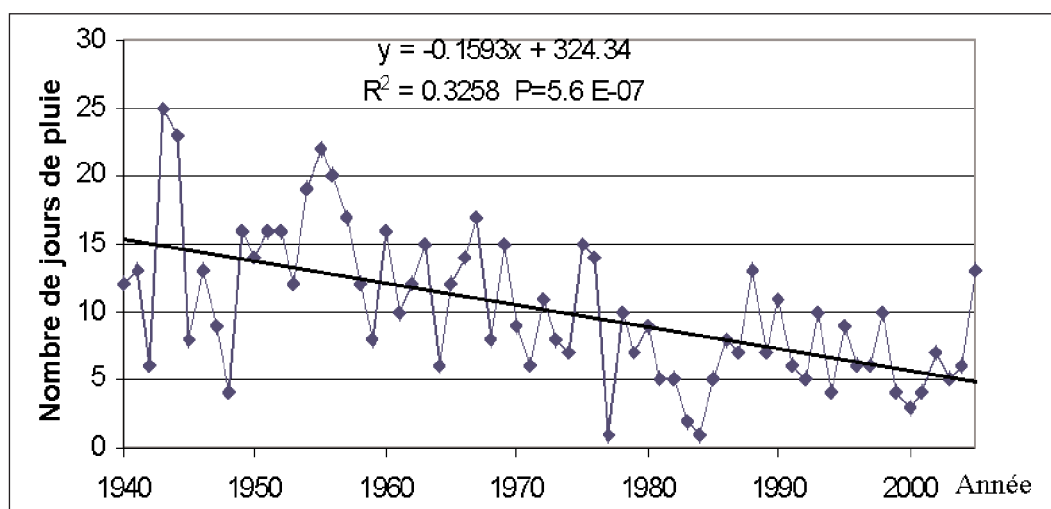


Figure 10: Tendance du nombre de jours de pluie à Nouakchott de 1940 à 2005

### Fréquence de retour des pluies exceptionnelles

La loi de Gumbel permet d'estimer la récurrence des événements jugés exceptionnels. Cette loi de statistique des valeurs extrêmes a été appliquée aux données de précipitations journalières de la station de Nouakchott.

Les résultats obtenus sont présentés à la figure 11. Le tableau 3 présente les précipitations maximales en fonction de différentes périodes de retour. Les périodes de retour retenues sont de 6, 10, 30 et 100 ans et correspondent à des types « anormal » à « très exceptionnel » selon la classification internationale des événements extrêmes proposée par l'Institut Royal de la Météorologie de Belgique.

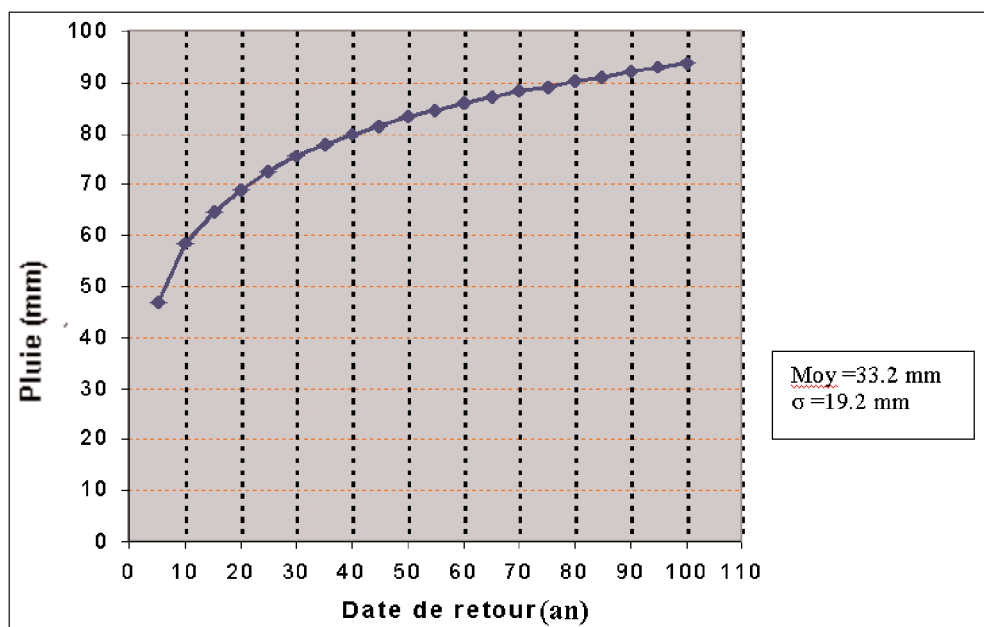


Figure 11 : Fréquence de retour des pluies journalières

Tableau 3 : Pluies journalières maximales (mm) en fonction de différentes périodes de retour			
6 ans Anormal	10 ans Très anormal	30 ans Exceptionnel	100 ans Très exceptionnel
47 mm	58 mm	75 mm	93 mm

En revenant aux événements pluviométriques extrêmes enregistrés dans la ville de Nouakchott depuis 1998, il ressort que :

- Ces pluies ont une période de retour de moins de 6 ans. Donc ces pluies, responsables d'inondations, n'ont pas un caractère anormal, ni exceptionnel ;
- Ces pluies ont été plus fréquentes avant la sécheresse. Si un retour à des conditions climatiques plus humides se vérifie, des pluies journalières importantes devraient être, à nouveau, de plus en plus fréquentes (OZER ,P. et CRESSMAN, 2000).

Ce qui est important de souligner ici, c'est que même si des inondations se sont produites pendant ces périodes avant sécheresse, elles n'ont sûrement pas suscité d'intérêt parce que n'ayant pas causé de dégâts significatifs. Qu'en serait-il avec des précipitations plus élevées ou simplement plus fréquentes ? La menace est réelle.

### *Analyse des pluies journalières extrêmes*

L'analyse des séries pluviométriques montre que la tendance générale des phénomènes pluviométriques extrêmes est à la baisse sinon stable. La figure 12 illustre la tendance à la baisse significative du 90e percentile, tandis que la figure 13 montre la tendance du 99e percentile avec une légère hausse mais non significative. Nous avons constaté la même tendance à la hausse non significative pour l'intensité pluviométrique moyenne par jour de pluie (Figure 14).

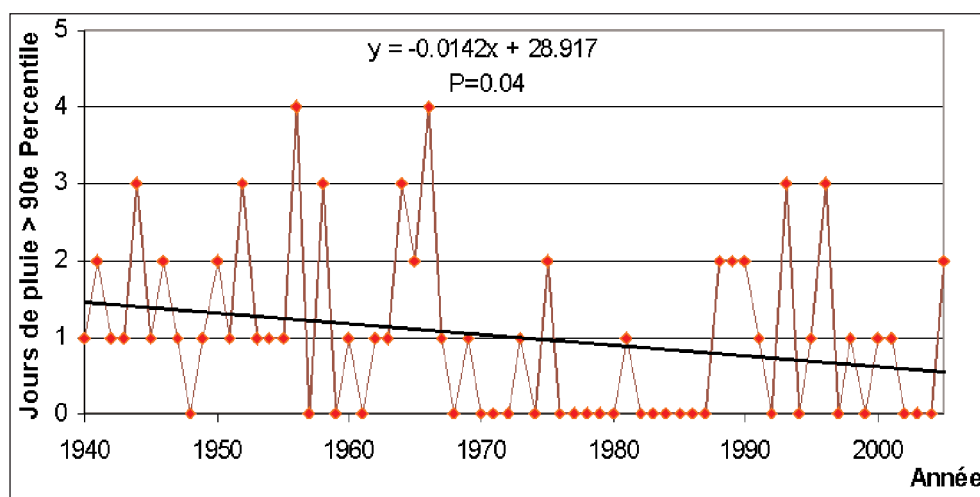


Figure 12 : Tendance du nombre de jours de pluie supérieurs au 90e percentile à Nouakchott de 1940 à 2005

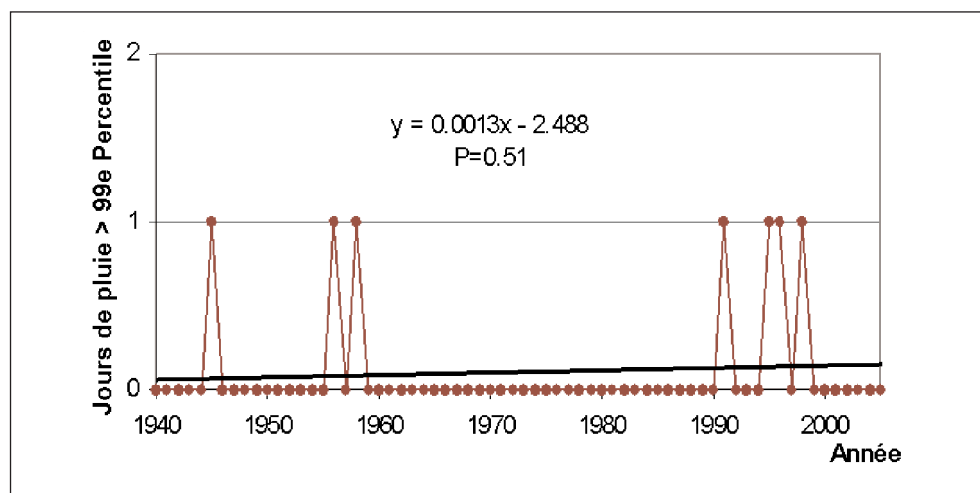


Figure 13 : Tendance du nombre de jours de pluie supérieurs au 99e percentile de 1940 à 2005

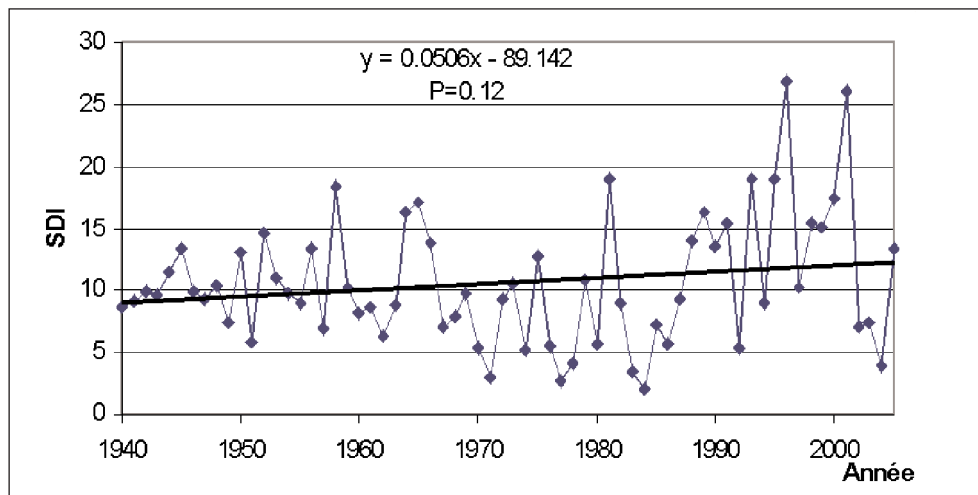


Figure 14 : Tendence de l'intensité pluviométrique moyenne par jour de pluie

La composante majeure du risque d'inondations urbaines résiderait donc dans l'aggravation de la vulnérabilité, c'est-à-dire l'occupation et l'aménagement du sol. Ceci soulève le problème des zones constructibles ou aptes à l'habitat dans la ville de Nouakchott et celui des politiques d'aménagement du territoire souvent en mal d'exécution. Les inondations plus fréquentes au Sahel, ces dernières années, ne sont que le reflet d'un nouveau rapport de l'homme à son espace, que des années de faible pluviométrie ont contribué à favoriser, sans qu'aucune politique importante d'aménagement de ces milieux n'accompagne cette dynamique (SENE et OZER, 2002 ; LEJOT et CALLOT, 2005).

Plusieurs quartiers de la ville de Nouakchott sont construits sur des sites peu aptes à l'habitat humain. La Sebkha, El Mina et une grande partie de Tévreh Zeina et Ksar sont installés dans une zone dépressionnaire de sebkhas salées à nappe sub-affleurante peu profonde. Un quartier entier (Mellah), situé à proximité de la mer, a été envahi et détruit par une incursion marine en 1995. La zone actuellement constructible et prévue dans le schéma d'aménagement de la ville de Nouakchott entre bien dans la zone à haut risque d'inondation. La fragilité de la dune côtière et l'érosion continue au sud du port de l'amitié constituent de réelles menaces pour la grande partie de la capitale qui se trouve dans des endroits dont le niveau est inférieur à la mer.

Le manque de couloirs d'évacuation des eaux à l'intérieur des quartiers est à l'origine de la stagnation des eaux dans les zones déjà basses. Le seul réseau de collecte des eaux usées, vétuste et ne couvrant qu'une infime partie de la ville, n'a pas de prise en compte réelle de l'évacuation des eaux pluviales (SEMEGA, 2006a). Il est bon de souligner que la ville de Nouakchott depuis sa création ne possède pas véritablement un système efficace d'assainissement et d'évacuation des eaux. L'ensablement chronique de ce réseau, le colmatage par les déchets et le manque d'entretien sont à l'origine de cette défaillance.

## ETUDE DE L'EXPANSION URBAINE

La délimitation de la croissance urbaine constitue l'une des préoccupations fondamentales de la gestion et de l'aménagement de l'espace. Le périmètre urbain est une donnée essentielle en analyse pour la détermination de la croissance périphérique des grandes cités et pour mettre en évidence le choix de nouvelles constructions (TONYE *et al.*, 1999). Au-delà de ces considérations, il pose, sur le plan méthodologique, le problème plus général de la définition de la limite entre ces deux types d'espaces intrinsèquement différents mais interpénétrants. Dans ce cas, le périmètre de l'agglomération se définit en fonction d'une préoccupation d'aménagement précise. Elle peut, à l'opposé, avoir une base physique, résultat de la rupture de nature d'occupation du sol entre les espaces bâtis en continu et ceux qui ne le sont pas.





Figure 15 : Evolution de l'extension urbaine de la ville de Nouakchott entre 1978 et 2006

Du fait de leur résolution spatiale et des multiples informations sur l'occupation du sol qu'elles produisent, les données multi-temporelles acquises par télédétection (Corona et SPOT panchromatique et multispectral) ont été utilisées pour réaliser cette cartographie de l'extension urbaine. Pour réaliser cette discrimination et délimiter le périmètre de Nouakchott, nous avons appliqué une méthode simple, la vectorisation superposée sur les images à des dates différentes pour discriminer l'étendue de l'urbanisation. Un plan urbain récent nous a permis d'affiner la photo-interprétation des images.

Nous avons utilisé comme source d'information l'image SPOT panchromatique à très haute résolution (2,5 m) et, en nous appuyant également sur un plan urbain vectoriel superposé sur l'image satellitaire, nous avons pu évaluer l'emprise urbaine actuelle, en 2006. Ensuite, nous avons délimité toutes les zones de proximité de la ville où la discrimination du bâti est possible. Nous avons également vectorisé les rues existantes.

De même, l'image Corona a servi comme support pour délimiter l'emprise urbaine en 1978 considérée comme date de référence pour l'analyse de l'extension de la ville. La figure 15 représente la carte de l'extension urbaine. La vectorisation des objets et l'habillage de la carte ont été réalisés grâce au logiciel Mapinfo 7.5.

Le calcul que nous avons réalisé sur la surface urbaine montre que celle-ci était estimée à 13,72 km<sup>2</sup> en 1978 contre 145 km<sup>2</sup> en 2006. Nouakchott est actuellement 10 fois plus étendue qu'en 1978 et est caractérisée par un taux d'extension de 4,6 km<sup>2</sup>/an.

Cette augmentation considérable a été enregistrée dans toutes les directions et en particulier dans les ramifications est, nord-est et sud. Cette croissance exponentielle n'avait pas été prévue par les décideurs lors de la mise en place des premières infrastructures, comme nous l'avons déjà précisé. Les premiers quartiers administratifs, construits sur un petit « plateau », à 6 kilomètres de la mer, se trouvent désormais en position centrale au sein d'une ville très étendue. L'urbanisation tentaculaire touche à la fois les dunes rouges et l'Aftout es-Sahéli. Les quartiers périphériques sont touchés par l'ensablement, en particulier le long de la route de l'espoir (Figure 17). Malheureusement, il n'y a pas un grand choix pour l'extension de la ville; celle-ci se fait, soit dans les zones inondables, soit dans les zones dunaires. Dans l'Aftout es-Sahéli, qui appartient au domaine littoral, s'étendent deux types de constructions : des lotissements, agréés par l'Etat et des quartiers d'habitat spontané appelés « Kébés» (Figure 16). Or, les terrains de l'Aftout es-Sahéli sont impropres à la construction : le sel contenu dans le sol remonte par capillarité, ronge les murs et les déstabilise. D'autre part, les zones bâties denses que sont les 5<sup>ème</sup> arrondissement (Sebkhas) et 6<sup>ème</sup> arrondissement (El Mina), sont à la merci des eaux de ruissellement engendrées par les rejets de toutes sortes et les précipitations d'hivernage car le substrat sablo-argileux, qui les sous-tend, est rendu particulièrement imperméable par la dessiccation, lors de la saison sèche, ainsi que par la densité même du bâti (BARRY, 2003).

En outre, ces arrondissements, parmi les plus pauvres de la capitale, étant situés à des altitudes proches ou inférieures au niveau de la mer, sont concernés au premier chef par les risques d'incursion marine.



Figure 16: Habitat précaire « Kebé » ou « Gazra » aux périphéries de Nouakchott.  
Source: Photothèque de BSA Technologies (2003)



Figure 17: Développement urbain sur le côté est de la ville au long de la route de l'espoir. Source: Ozer P. (2006)

## ETUDE DE L'ÉVOLUTION GÉOMORPHOLOGIQUE DU TRAIT DE CÔTE

La construction du port de Nouakchott en 1986 sur une côte sensible (rivage plat, rectiligne, sableux et exposé aux fortes houles) a bloqué le transit sédimentaire vers le sud et modifié l'équilibre fragile entre sédimentation et érosion. Au nord du port, on assiste à un engraissement tandis qu'au sud, se produit un démaigrissement.

Afin de mettre en évidence l'évolution du trait de côte et évaluer le risque d'érosion au niveau du port de Nouakchott, nous avons opté pour une analyse diachronique multi-dates. En raison de leur haute résolution, les images SPOT 5 HR et photographies Corona ont été choisies pour effectuer cette analyse. Ce choix s'explique par le fait que l'image Corona de 1978 représente une date de référence ou situation zéro de la plage avant l'anthropisation suite à la construction de plusieurs ouvrages et en particulier le port autonome de Nouakchott. Au moyen des données ci-dessus, nous avons réalisé un fichier image à 3 canaux grâce à l'outil

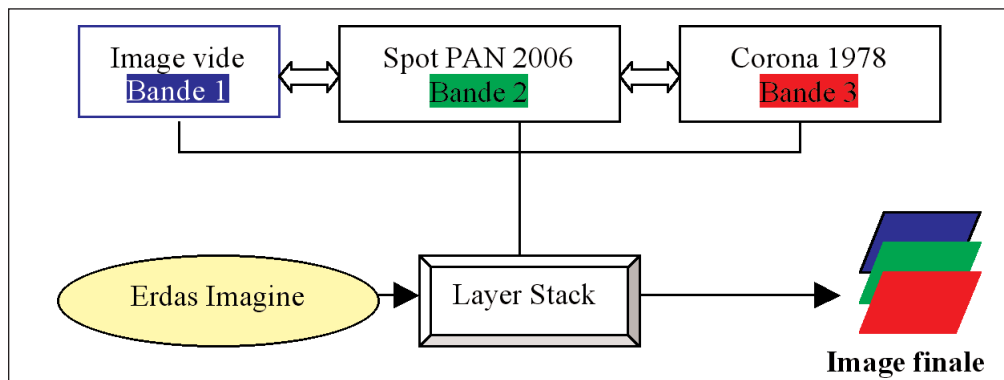


Figure 18 : Méthodologie utilisée pour le suivi du changement de la côte



Figure 19: Evolution du trait de côte à la plage de Nouakchott ( 1978 - 2006)



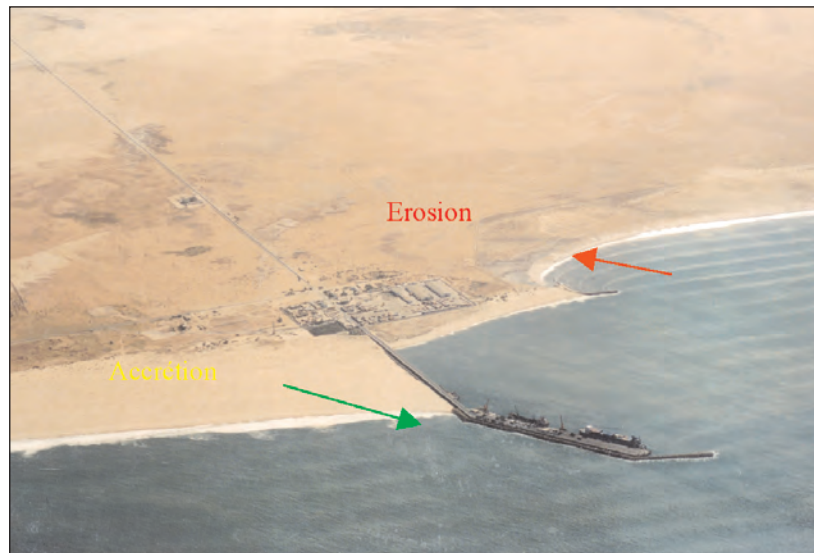


Figure 20: vue oblique du port autonome de Nouakchott

Layer Stack d'ERDAS Imagine (voir figure 18): le premier est le canal vide, le deuxième canal est l'image récente de SPOT 2006 et le troisième canal correspond à l'image ancienne de Corona 1978. La figure 19 indique l'image résultante qui montre la modification survenue au niveau de la côte. La photo oblique (figure 20), indique la diffraction des vagues au sud du port.

Nous avons quantifié l'accrétion et l'érosion de la plage sur la période considérée. Il ressort de ce calcul que la plage dans le secteur sud du port est érodée de près de 550 à 600 m dans certains endroits alors qu'une accrétion au nord du port est estimée à 800-850 m au maximum durant la période de référence 1978-2006. Ces changements côtiers ont provoqué une modification sérieuse de l'environnement littoral à Nouakchott et constituent l'un des facteurs de risque d'inondation marine.

## CARTE D'ALÉAS D'INONDATIONS

Nous avons utilisé la carte topographique, une image satellitaire SPOT et une image radar ERS pour identifier et cartographier les zones inondables. Il y a en réalité deux zones d'inondation dans la ville de Nouakchott. D'abord, la plaine littorale et ses sebkhas auxquelles il faut rajouter la surface de la zone affectée à l'intérieur du milieu urbain et qui n'apparaît pas clairement sur les images satellitaires à cause de la densité des habitations et la rugosité du terrain.

La démarche suivie consiste d'abord à la vectorisation de la carte topographique pour délimiter la courbe de niveau 0 qui désigne les zones dépressionnaires dont l'altitude est inférieure au niveau de la mer.

Ensuite l'image radar acquise quelques jours après une forte pluie est utilisée pour délimiter les zones submergées ou de forte humidité à l'extérieur de l'enceinte urbaine. Elle a subi une série de traitements pour extraire les pixels ayant des valeurs proches ou similaires et qui désignent les zones de mares d'eau en tenant compte de pixels témoins au nord de l'image sur la sebkha de Ndarmcha.

Grâce à l'utilisation d'ERDAS Imagine, nous avons importé cette image et l'avons sauvegardé sous format img. Nous avons au préalable enlevé ou réduit l'effet speckle en utilisant le même logiciel. Avec tous les filtres de suppression de speckle, il y a un compromis entre réduction du bruit et perte de résolution.

Nous avons opté pour le module d'Erdas Imagine qui a été conçu pour être flexible et doux dans la réduction du bruit et de conservation de la résolution.



Nous avons calculé également le coefficient de variation pour l'image radar. Cette variable est exigée pour régler avec précision les filtres de suppression du speckle. La figure 21 représente le résultat de cette opération.

On voit la ville de Nouakchott comme une tache blanche (figure 21) ainsi que les dunes de sable qui se trouvent dans la partie est de la ville. Les villes, très fortement rétrodiffusantes à cause de l'abondance de coins réflecteurs et de structures métalliques apparaissent en blanc sur les images. Le littoral se démarque également en bordure de la mer qui présente une structure homogène avec une couleur grise. Sur terre, on observe une tendance générale à la diminution de la rétrodiffusion. Ce phénomène est bien visible sur toute la partie sud-ouest de l'image ainsi qu'au nord-ouest sur la sebkha de Ndramcha.

Cette analyse a permis d'identifier les principaux noyaux inondables dans la plaine d'Aftout Es-Sahéli et qui constituent un ensemble de petites mares d'eau. La superficie de ces noyaux a été calculée.



Figure 21: L'image radar après filtrage

Les différents noyaux inondés détectés dans la zone d'étude, qui s'étendent du parallèle 17°54'47"N au parallèle 18°11'36"N, couvrent une surface d'environ 13 km<sup>2</sup>. La figure 22 illustre la carte finale des zones inondables ou carte d'aléas d'inondations. Elle sera plus tard utilisée avec la carte urbaine pour délimiter les zones de risques proprement dits.

## CARTE DE RISQUES D'INONDATIONS

L'objectif principal de notre travail a été de réaliser une carte du risque potentiel d'inondation. La délimitation des zones à risques a été établie par une analyse spatiale. La carte a été réalisée en combinant les couches de zones inondables, de zones d'érosion, de sols salés et de quartiers habités. Nous avons utilisé le logiciel ArcView 3.2 pour effectuer une

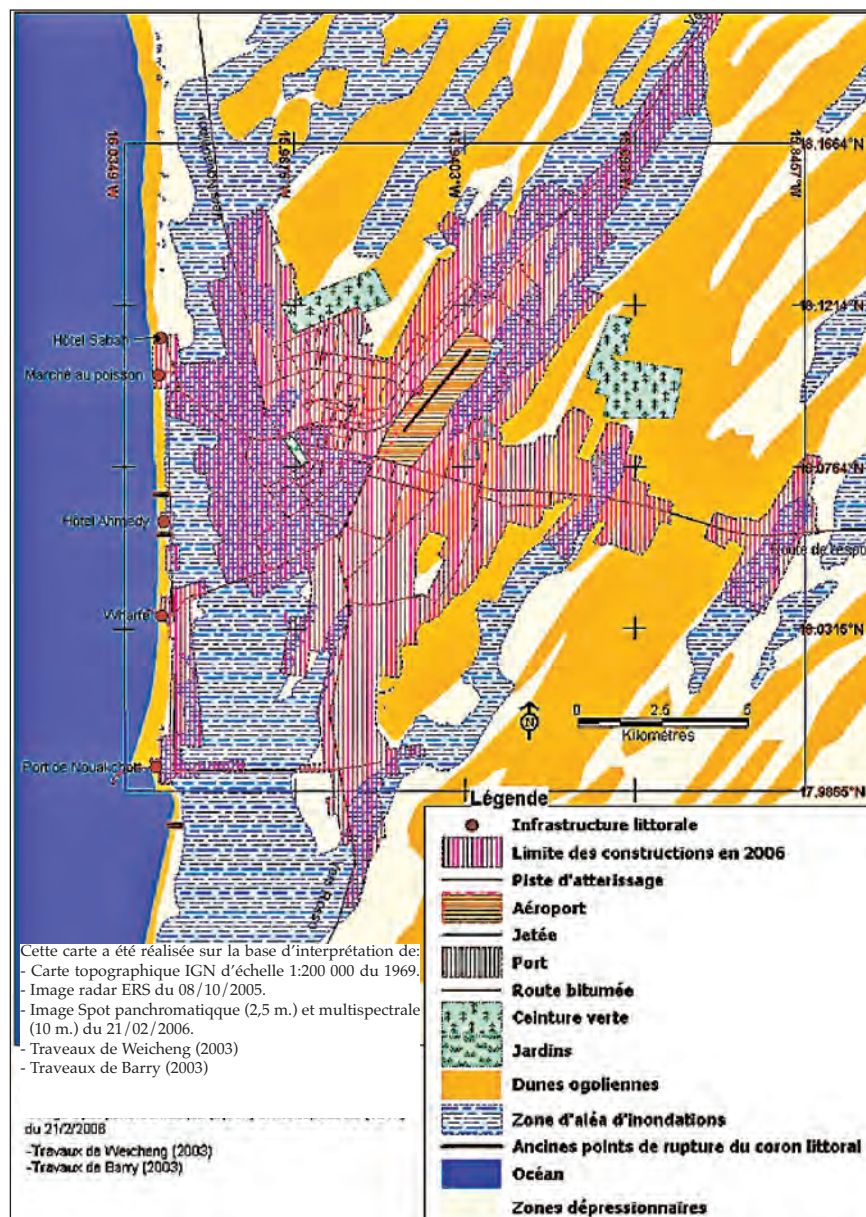


Figure 22: Carte d'aléas d'inondation à la ville de Nouakchott

analyse spatiale afin de délimiter d'abord les zones à risque d'inondation et ensuite pour élaborer une carte de secteurs inconstructibles qui devraient être évités pour minimiser l'impact du risque précité. Le module utilisé est le *Geoprocessing* suivant les étapes mentionnées dans les figures 23 et 24.

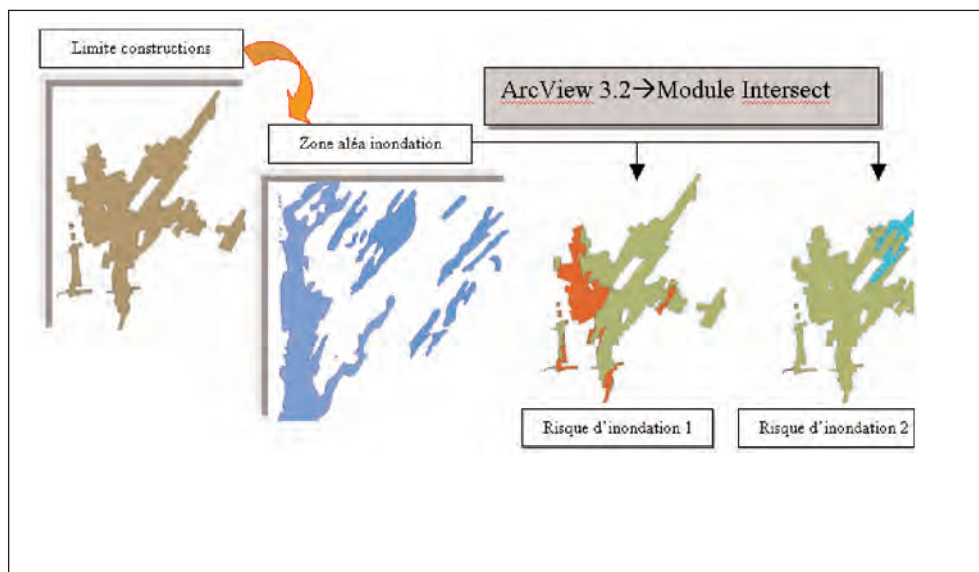


Figure 23 : Méthodologie adoptée pour extraire les zones de risque d'inondation

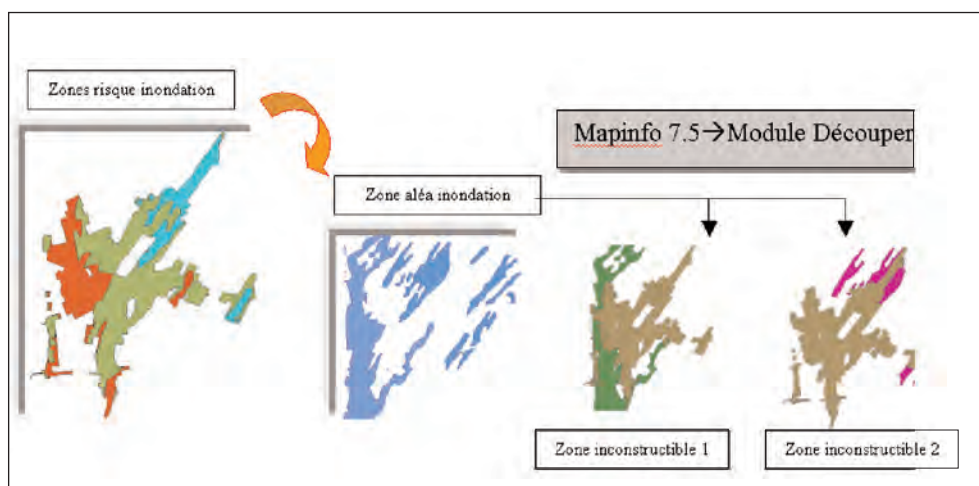


Figure 24 : Méthodologie adoptée pour délimiter les secteurs inconstructibles

La carte de risques d'inondations ainsi que les secteurs inconstructibles sont représentés respectivement aux figures 25 et 26.

Nous avons délimité deux zones de risques d'inondations : le risque 1, risque élevé, désigne la zone en contact direct avec la plaine littorale et pouvant éventuellement être directement inondée par la mer et le risque 2, moins élevé, qui regroupe les zones dont l'altitude est basse et qui sont occupées par la population des zones périphériques avec tout ce que cela peut comporter comme densité d'habitat et vulnérabilité d'infrastructures d'évacuation des eaux de pluie.

La zone de risque 1 représente la dépression littorale, incluant la lagune située entre le cordon sableux et la ville de Nouakchott. L'eau de mer peut facilement pénétrer dans cette terre basse par la barrière de sable et par la nappe phréatique souterraine qui monte lors de précipitations. La rupture, l'érosion et la pénétration de l'eau peuvent provoquer l'ouverture d'une brèche dans le cordon littoral. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, les parties



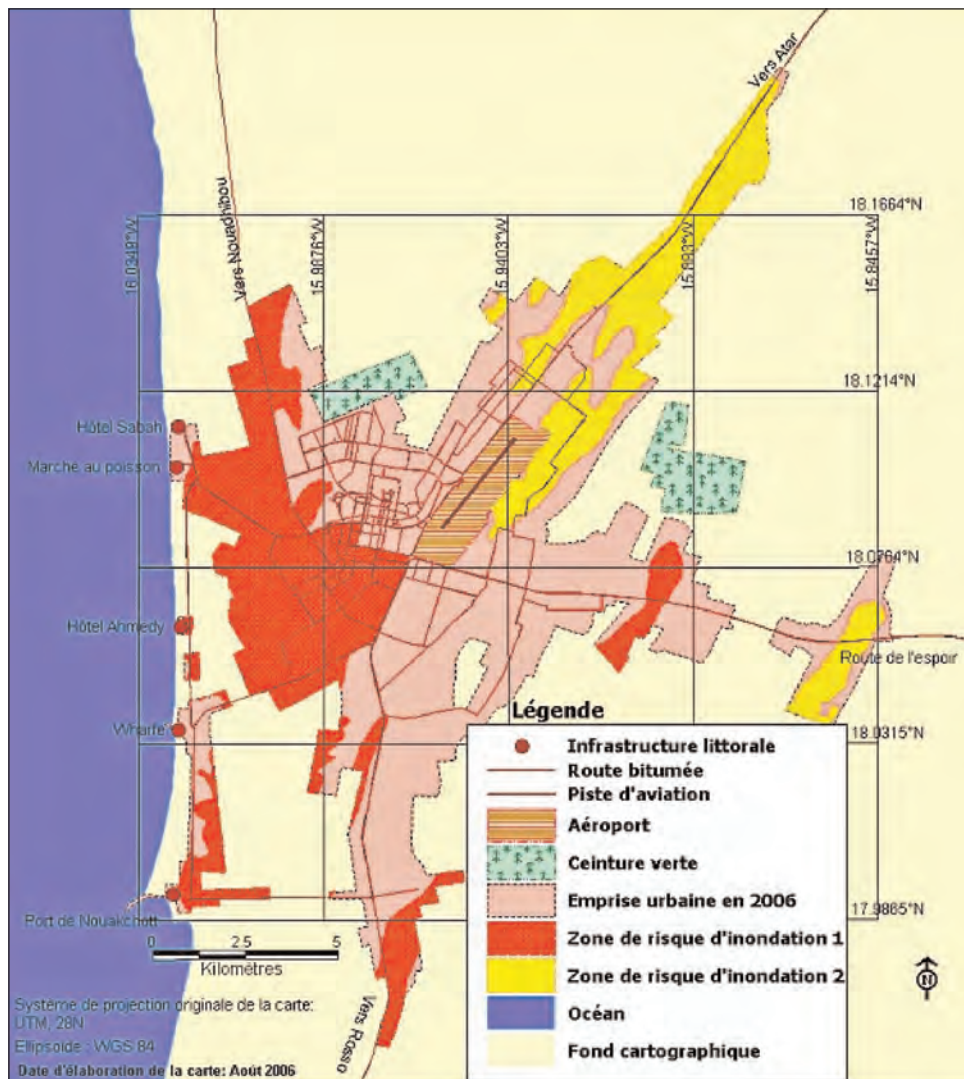


Figure 25 : Carte de risques d'inondations dans la ville de Nouakchott

érodées dans le sud du port sont ainsi directement concernées par une menace d'inondation.

La zone de risque 2 qui n'est pas en contact direct avec la dépression littorale est certainement moins sujette aux fluctuations des eaux de la mer mais, par contre, la grande densité de population y pose déjà des problèmes et en posera encore plus à l'avenir car, comme suite au taux de croissance déjà manifesté par la ville, les risques secondaires peuvent devenir primaires étant donné le manque de réseau d'évacuation d'eau.

Le choix de deux zones constitue certainement une simplification car il existe, bien entendu, d'autres facteurs qui peuvent intervenir dans la vulnérabilité urbaine.

Il apparaît de cette analyse que 27% des constructions actuelles sont installées dans des zones à risque élevé et 15% dans des zones à risque moyen, ce qui correspond respectivement à une surface de 39,4 km<sup>2</sup> pour le risque 1 et 21,9 km<sup>2</sup> pour le risque 2.

Mais au-delà de la fragilité du cordon littoral et de la pluviométrie, certains spécialistes n'excluent pas qu'avec les changements globaux, le niveau de la mer va augmenter de quelques centimètres (14-80 cm) d'ici à 2050 à cause de l'expansion thermique des océans et de la fonte de glaciers au Groenland et en Antarctique (ERICSON *et al.*, 2006). D'autres études ont montré que le niveau de la mer a augmenté de 12 cm en moyenne pendant le dernier siècle et ont appelé à la prudence quant aux projections actuelles (OZER, A. 2006 ). Quoi qu'il en soit, le risque d'inondation marine est réel à Nouakchott, car la plupart des quartiers de la ville sont soit au-dessous de niveau de la mer ou légèrement au-dessus de celui-ci, excepté les zones construites sur les dunes qui se retrouvent à une altitude de 20 m dans le meilleur des cas.





Figure 26: Carte des zones inconstructibles à la ville de Nouakchott

D'autres facteurs peuvent également créer des problèmes en cas d'une tempête extratropicale d'origine tempérée (ou goutte froide) qui pourrait générer des vagues considérables. Un tremblement de terre aux Canaries pourrait également être considéré comme aléa et engendrer un tsunami même si ce genre de questions est très délicat à discuter et à prendre en compte dans la gestion des risques naturels surtout dans les pays en voie de développement où d'autres problèmes sont beaucoup plus à l'ordre du jour.

Nous sommes conscients que cette étude n'est pas exhaustive. Les cartes proposées sont le résultat d'un travail de synthèse qu'il faudrait toutefois compléter et affiner. Ce travail mérite une validation et un amendement pour éventuellement l'ajuster et prendre en compte d'autres facteurs de vulnérabilité comme, par exemple : le type de sol qui intervient dans l'absorption ou le ruissellement de l'eau, la nature des matériaux de construction, la présence ou pas d'une infrastructure d'évacuation, etc... La végétation peut également être prise en compte en tant que facteur de fixation des sols mais comme la zone est fort dégradée, nous l'avons éliminé.

En résumé, nous pensons que les éléments les plus importants à retenir pour définir les zones inconstructibles sont : la proximité de la mer et les aires situées sous le niveau de celle-ci comme la dépression d'Aftout es-Sahéli ; le cordon littoral fragilisé pouvant être soumis à des ruptures et le facteur urbain dont l'impact sur le sol n'est pas négligeable. Cette recherche pourrait donc servir comme outil d'aide à la décision et constituer un document de

réflexion pour un aménagement rigoureux de la ville de Nouakchott, image du pays à l'extérieur. Il incombe à l'Etat de préparer des lois qui organisent et gèrent l'urbanisation sur le cordon littoral et dans les zones à risques d'inondations. Le renforcement du cadre législatif est une nécessité à l'heure actuelle pour une gestion intégrée des risques naturels.

## CONCLUSION

Ce modeste travail n'apporte pas de réponses à toutes les questions qu'on peut se poser sur les risques d'inondation. Une étude plus fouillée dans un cadre pluridisciplinaire, basée sur des mesures et des observations régulières et continues apporterait des résultats sans doute plus complets. Néanmoins, ce travail a permis de produire plusieurs données et informations qui peuvent être valorisées et utilisées dans le cadre d'un SIG dynamique pour le suivi des risques naturels de la ville de Nouakchott. Il ressort de l'analyse de la relation existant entre les inondations et les événements pluvieux que les pluies responsables des inondations de ces dernières années ne revêtent pas un caractère exceptionnel. Par contre, la vulnérabilité de la ville de Nouakchott face au risque d'inondation semble avoir fortement augmenté suite à un aménagement urbain déficient.

Cette nouvelle configuration de l'espace, caractérisée par une présence massive d'habitants dans des endroits jadis répulsifs, nécessite de prendre des décisions d'aménagement plus rigoureuses pour accompagner cette dynamique de peuplement et orienter les populations vers des endroits plus habitables. De tels endroits sont aujourd'hui peu nombreux pour ne pas dire inexistantes. La solution serait donc d'entreprendre des travaux d'aménagement de l'espace, avec surtout la mise en place de moyens d'exécution d'une telle politique, moyens qui malheureusement font souvent défaut.

Ce travail a globalement permis de faire l'état sur les risques d'inondations à Nouakchott. Une carte des risques ainsi qu'une carte des zones inconstructibles ont été élaborées ; elles pourront servir à la mise en place d'un dispositif efficace de protection de la ville et des infrastructures publiques. Nous avons montré qu'en combinant des images multi-dates, il est possible d'obtenir une bonne estimation de zones menacées par les inondations. Il s'agit là d'une estimation qu'il serait souhaitable de pouvoir valider par une vérité de terrain.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un DES Interuniversitaire en Gestion des Risques Naturels qui bénéficie de l'appui de la Communauté Universitaire pour le Développement (CUD). Nous remercions chaleureusement le CIUF et la CUD de leur appui et de leur soutien financier qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nos remerciements vont aussi au programme OASIS de l'Union Européenne qui nous a permis d'obtenir gracieusement des images SPOT.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABOU DAGGA N., COUREL M.F., BADRAN F. & ANSELME B., 2003. The evolution study of the natural hazard zones by the kohonen self-organising map classification, 6p. Ambassade de France, 2005. Il a beaucoup plu à Nouakchott. Rapport de la mission économique. Dépêche publiée le 14/09/2005 In [http://www.missioneco.org/mauritanie/documents\\_new.asp](http://www.missioneco.org/mauritanie/documents_new.asp) (site consulté en octobre 2005) .
- BARRY S., 2003. Contribution à l'étude géomorphologique de la cote mauritanienne: cas de Nouakchott et ses environs. DES en géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Département de géographie, 116p.
- BIRD E.C. & SCHWARTZ M.L., 1985. The world's coastline. Publication : New york Van Nostrand Reinhold: 549-553.
- CISSE H., 2006. Les maladies hivernales. Nouakchott info quotidien, 1034, 25 juillet, p.2.

- COUREL M.F., RUDANT J.P., LETERRIER E. & TULLIEZ G., 1998. Apport de l'imagerie R.S.O. en milieu aride: cas de la région de Nouakchott en Mauritanie; 7<sup>e</sup> journées scientifiques de l'AUPELF UREF, Montréal, nov. 97 : 225-232.
- DION E., 2006. Etude diachronique de la dynamique des sables et de l'impact d'un projet de lutte contre l'ensablement (projet « Ceinture Verte ») à Nouakchott (Mauritanie) grâce aux apports de la télédétection. Université de Liège, Département de Géographie, 162p.
- GOOGLE EARTH, 2006. Images Satellitaires du Globe In <http://earth.google.com/> (site consulté en juillet 2006).
- GUEYE B., 2006. Météorologie : Nécessité de renforcer l'expertise nationale. Nouakchott info quotidien, 1034, 25 juillet, p.3.
- IRIN, 2006. MAURITANIE: Les premières pluies font sept morts. Bulletin d'information du 25 juillet 2006 In : <http://www.irinnews.org/French/Report.asp/ReportID=7077> & SelectRegion=Afrique de l'ouest & Select Country=Mauritanie (site consulté en août 2006). IRM (site consulté en mai 2006) In [www.irm.be](http://www.irm.be)
- LEJOT J. & CALLOT Y., 2005. L'homme et l'eau à Aleg (Mauritanie) : de la pénurie à l'excès. *Sécheresse* ; 16 (3) : 175-81.
- LY B., 1999. Contribution à l'étude de l'érosion côtière en Afrique de l'Ouest : Exemple du littoral de Nouakchott. Mémoire de DEA en géographie tropicale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- MARGOT S., 2006. Fiche signalétique de la Mauritanie, Mission Economique de l'Ambassade de France en Mauritanie. 4p.
- MARICO D., PENNOBER G., CREUSEVEAU J.-G., THIAM A., OULD-SENHOURY A. & LEVOY F., 2006. Préservation des défenses naturelles du littoral mauritanien: démarche de l'Observatoire du Littoral autour du suivi du cordon dunaire. Interactions Nature-Société, analyse et modèles. UMR6554 LETG, La Baule 2006, 7p.
- MSF (Médecins Sans Frontières), 2005. Importante épidémie de choléra dans la capitale Nouakchott. Bulletin d'information in: [http://www.msf.be/fr/terrain/pays/afrique/mauritanie\\_news\\_02.shtml](http://www.msf.be/fr/terrain/pays/afrique/mauritanie_news_02.shtml) (site consulté en août 2006).
- OMS, 2005. Le choléra toujours plus présent en Afrique de l'Ouest et surtout au Sénégal, Bulletin de l'OMS du 23 septembre 2005 In <http://www.africweb.org/index.php> (site consulté en août 2006).
- ONU, 2005. Réponse de la Mauritanie au questionnaire de la stratégie internationale de prévention des catastrophes. Actes du séminaire international sur l'utilisation des techniques spatiales pour la gestion des catastrophes: Prévention et gestion des catastrophes naturelles. Alger, 22-26 mai 2005. 5p.
- OULD DADDAH M., 2003. La Mauritanie contre vents et marées. Ed. Karthala, 670p.
- OZER A., 2006. Cours de géomorphologie littorale - Université de Liège, 59 p + annexes.
- OZER A. & OZER P., 2005. Désertification au Sahel : Crise climatique ou anthropique ? *Bulletin de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, 51, 4 : 395-423.
- OZER P., 1996. Evolution des directions et des vitesses des vents de 1951 à 1994 sur la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest du sud du Sénégal au nord de la Mauritanie. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 9 : 479-486.
- OZER P. & CRESSMAN K., 2000. Return period analysis of the daily rainfall in West Africa within the scope of the Météo-France daily rainfall database import into SWARMS. FAO, AGPP, DLIS, Rome, 7 p. In : SENE S. & OZER P., 2002 : Évolution pluviométrique et relation inondations - événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42 : 27-33.
- PITTE J.-R., 1977. Nouakchott, capitale de la Mauritanie. Publication du Département de Géographie de l'Université de Paris-Sorbonne, Paris, 198p.
- SALL B., 2005. Résumé du cadre stratégique d'intervention pour la protection de l'environnement en Mauritanie In : <http://www.cyberforum.mr/environnement/index1.html> (site consulté en janvier 2006).
- SEMEGA B.-M., 2006a. Eaux pluviales à Nouakchott : de l'éclaboussure à l'embourbement, plus qu'un borborygme ! Actes de la Manifestation « Nouakchott 1958-2006: Défis pour un cinquantenaire » du 13 février au 5 mars 2006.
- SENE S. et OZER P., 2002. Évolution pluviométrique et relation inondations - événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42 : 27-33.
- SOUDAN F., 2006. Tout est changé sauf moi... Interview avec le président de la Mauritanie. Jeune Afrique Intelligent N°2334 du 23 juillet 2006. In [www.lintelligent.com](http://www.lintelligent.com) (site consulté en août 2006).

- TONYE E, AKONO A., NDI NYOUNGUY A. & ASSAKO ASSAKO R.-J, 1999. Utilisation des données ERS1 et SPOT pour le suivi de la croissance périphérique de la ville de Yaoundé (Cameroun), A. Bannari Editer, Laboratoire de Télédétection et de Géomatique de l'Environnement, Département de géographie, Université d'Ottawa, Actes du Colloque international, Université d'Ottawa, Ottawa 10 au 12 mai :83-98.
- TREBOSEN H., 2002. Apport des images RADAR à Synthèse d'Ouverture à la cartographie marine. Thèse à l'Université de Marne la Vallée. Spécialité : Sciences de l'Information Géographique. 161p. Université de Nouakchott, 2005. Evaluation et gestion des risques littoraux à Nouakchott. In <http://www.mr.refer.org/littoral/> (site consulté en janvier 2006).
- WEICHENG W., 2003. Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides - Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest. Université de Paris 1-Panthéon-Sorbonne et de l'Ecole Pratique des hautes Etudes, 217p.